



TITLE:

3.CO₂レギュラーレーザーによる
非線形現象(上智大学大学院理工学
研究科物理学専攻,修士論文題目・
アブストラクト(1990年度))

AUTHOR(S):

三河, 淳一

CITATION:

三河, 淳一. 3.CO₂レギュラーレーザーによる非線形現象(上智大学大学院理工学研究科物理学専攻,修士論文題目・アブストラクト(1990年度)). 物性研究 1991, 56(6): 770-771

ISSUE DATE:

1991-09-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/94603>

RIGHT:

3. CO₂ レギュラーレーザーによる非線形現象

三 河 淳 一

《序論》

線形的な光学現象では、媒質の吸収定数や屈折率は光の強度によらず一定である。しかし、コヒーレントな光と物質の相互作用によるそれは、光の強度にたいして非線形であり、十分強いレーザーにおいては吸収定数は減少し吸収は飽和する。この吸収の飽和効果には、ホールバーニング効果、ラムディップ、反転ラムディップ、光双安定性などがある。今回は吸収の飽和効果の一つであるラムディップについて、吸収媒質にCO₂、入射光に10.6μm CO₂レーザーP(18)を用いて、そのレーザー強度及び吸収媒質のガス圧依存性の定量的解析を目的として実験を行った。ラムディップは、1964年のLambの気体レーザーの半古典的理論¹⁾の中で予言された。その後、1.15μmのHe-Neレーザーの出力特性のラムディップが実験的に発表された²⁾。CO₂レーザーによるCO₂の4.3μm蛍光ラムディップは、1970年にJavan et al³⁾によって報告されている。しかし、この報告は定性的なものにとどまり以後今日まで発表されたものは高分解能分光やレーザーの周波数安定性などの応用的なものである。

《原理》

1) 吸収の飽和効果；コヒーレントな光が分子の特定の2準位と相互作用するとき、分子の緩和を考え、この2準位間で吸収される光の単位体積あたりのパワーΔPは、

$$\Delta P = P (N_L - N_U) \hbar \omega \gamma |\mu_{UL}|^2 / 2 [(\omega - \omega_0)^2 + x^2 + \gamma^2] \quad (1)$$

$$x = |\mu_{UL}| E_0 / \hbar \quad P = \epsilon_0 c E_0^2 / 2$$

となる。Pは入射光のパワー密度、N_L、N_Uはそれぞれ下準位、上準位の分子数、μ_{UL}はこの2準位の間双極子モーメントのマトリックスエレメント、ωは入射光の角周波数、ω₀は2準位間の遷移の角周波数、E₀は入射光電場の振幅、γは緩和速度である。また、xは励起の速さを表す。励起の速さが緩和の速さに等しいかそれ以上になるとΔPはPに対して非線形であり、十分強いPでΔPは飽和する。これを吸収の飽和効果という。

2) ラムディップ；吸収媒質に気体分子を用いるとその吸収スペクトルは分子運動によるドップラー効果のためガウス型に広がる。吸収媒質をレーザー共振器の中に置くと、吸収媒質はレーザーの光軸に沿って左右両方からレーザーを受ける。レーザー共振器の長さを変えレーザーの周波数をドップラー幅内で変化させると吸収スペクトルの中心付近でくぼみが観測される。これをラムディップと呼ぶ。吸収スペクトルの中心周波数と共振周波数が一致するとき、光軸の速度成分が0の分子は左右両方からのレーザーと共鳴する。このため中心付近では、2倍の飽和効果が生じ吸収係数は減少するがこれによりラムディップができる。ラムディップの形は式(2)で、その深さ及び幅はそれぞれ式(3)、式(4)で近似的に与えられる。⁴⁾⁵⁾

$$Kr = \{ 1 + (A/B)^{1/2} \} / [(A^{1/2} + B^{1/2})^2 - 4\Omega^2]^{1/2} \quad (2)$$

$$A = [(\omega - \omega_0)^2 + \gamma^2]^{1/2} / \gamma^2$$

$$B = [(\omega - \omega_0)^2 + \gamma^2 + 2G\gamma^2]^{1/2} / \gamma^2$$

$$\Omega = (\omega - \omega_0) / \gamma \quad G = (x/\gamma)^2$$

$$H = (1 + G)^{-1/2} - (1 + 2G)^{-1/2} \quad (3)$$

$$W = [(\gamma_0 + \beta p)^2 + x^2]^{1/2} \quad (4)$$

ここで、βは圧力広がり係数、pは吸収媒質の圧力を表すGは、飽和パラメーターと呼ばれる。Gの値が1の付近で飽和は最大となる。

3) 4.3μm蛍光；10.6μm CO₂レーザーが、CO₂分子に入射したときに起こる吸収過程をFig.1に示す。入射したレーザーは、[10°0, 02°0]_I準位の分子に吸収される。吸収した分子は、[00°1]準位に励起される。[00°1]準位からの自然放射はそのほとんどが基底準位との間に起こり、これが、4.3μmの蛍光である。この実験においてCO₂分子に吸収されるレーザー光の吸収量は、[00°1]準位から放出される4.3μmの蛍光強度を測定することにより決定される。

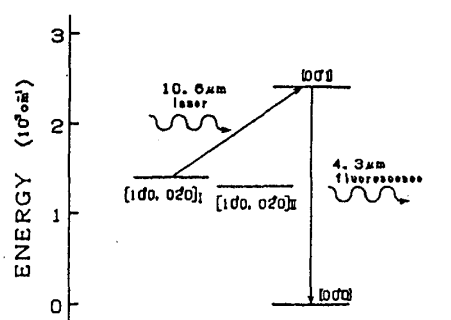


Fig.1 Energy level diagram

《実験》

Fig.2 に実験装置を示す。レーザー共振器の片方には波長選択用の回折格子、他方には反射99%ミラーを取り付けている。反射ミラーはPZTにマウントされている。PZTに電圧をかけることによりレーザー共振器長を変えレーザーの周波数を変化させる。PZTに印加する電圧は、0V~600Vで0.01Hzの三角波で変調する。このときレーザーはドップラー広がり範囲で周波数変化をする。共振器中の吸収セルにはCO₂を封じ込める。CO₂のガス圧は0.01Torr から0.15Torr の間で変化させる。また、レーザー出力はシングルモードで最大50mWになる。吸収セルには、LiFの窓を取り付けここから4.3μmの蛍光を観測する。蛍光の検出には、CdHgTe検出器を用いた。検出された信号はロックイン増幅器を経てデジタルオシロスコープでモニターしてコンピューターに記録される。

《結果及び考察》

Fig.3 は、レーザー出力が16mWで吸収セル内のCO₂のガス圧が0.120Torr及び0.040Torrの時のラムディップである。蛍光強度最大値とラムディップの深さの比はそれぞれ6%,15%で、ラムディップの半値全幅は2.2MHz,1.1MHzである。この値は過去の実験値とはほぼ一致している⁶⁾。Fig.4とFig.5は、それぞれラムディップの深さと蛍光強度最大値の比d/h、ラムディップの半値全幅wの吸収ガスCO₂圧力依存性を測定したものである。圧力の低いところでは、2準位の緩和時間に対して励起の時間は短くラムディップは浅くなるが、蛍光強度最大値も急速に減少するためその比は大きくなる。ガス圧の高いところでは分子数密度差の増加により比は小さくなると思われる。ラムディップの幅は圧力に対してほぼ直線的に増加する。

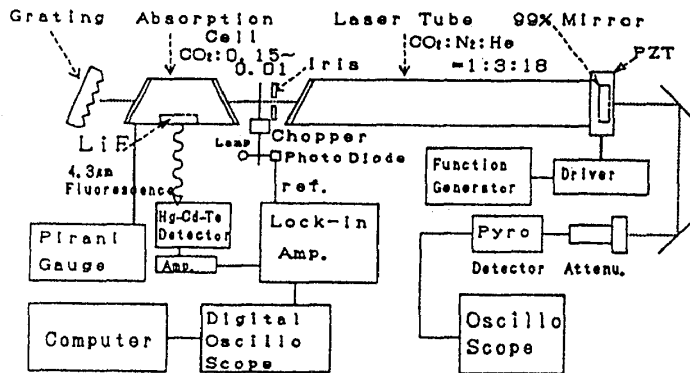


Fig.2 EXPERIMENTAL APPARATUS

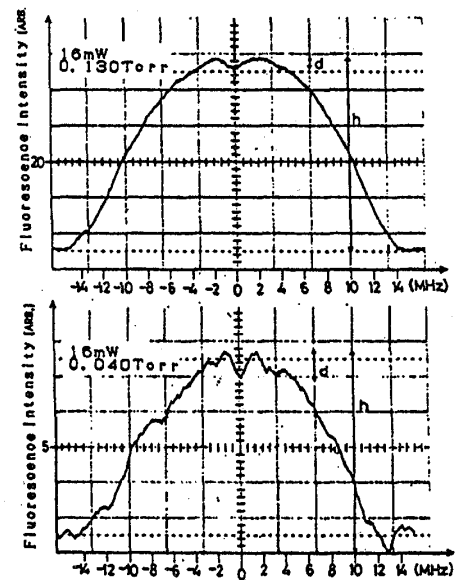


Fig.3

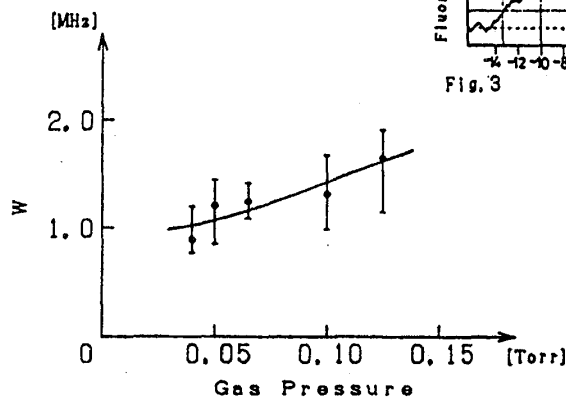
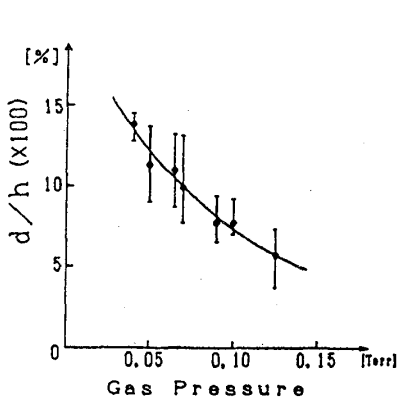


Fig.4 Lamb dip の深さの圧力依存性 Fig.5 Lamb dip の幅の圧力依存性

- 1) W.E.Lamb, JR. :Phys.Rev. 134A,1429 (1964)
- 2) A.R.McFarlane, W.R.Bennett, JR., and W.E.Lamb, JR. :Appl.Phys.Lett. 2,189 (1963)
- 3) C.Freed, A.Javan :Appl.Phys.Lett. 17,53 (1970)
- 4) V.S.Letokhov : "Topics in Applied Physics" vol.13 ch4 101 (1976)
- 5) W.Schupita, A.Ullrich, and G.Magerl :IEEE J.Q.E. Qe-25,10 (1989)
- 6) C.Freed, and R.G.O'Donnell :Metrologia 13,151 (1977)